

# 多光谱遥感影像建筑物提取<sup>①</sup>

施文灶, 刘金清, 黄 晞

(福建师范大学光电与信息工程学院, 福州 350108)

(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

**摘 要:** 针对传统遥感影像目标提取对数据要求严格及应用受限的问题, 提出一种基于非线性尺度空间滤波的建筑物提取算法. 首先, 构造多光谱影像各个波段的非线性尺度空间并进行迭代滤波; 然后, 搜索全局影像的标准差曲线的第一个谷点, 停止迭代过程; 最后, 利用最大类间方差法分别对各个波段的滤波结果进行二值化. 为了验证本文方法的有效性, 选取福州市的一幅航空影像, 并与同类方法进行对比. 试验结果表明, 本文算法能在平滑噪声的同时保留建筑物边缘信息, 对于提取排列紧密的建筑物有更好的效果, 在保证查准率的前提下, 查全率有 5% 以上的提高.

**关键词:** 非线性尺度空间滤波; 多光谱; 遥感影像; 建筑物; 提取

引用格式: 施文灶, 刘金清, 黄晞. 多光谱遥感影像建筑物提取. 计算机系统应用, 2017, 26(8): 201-205. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5909.html>

## Building Extraction from Multispectral Remotely Sensed Imagery

SHI Wen-Zao, LIU Jin-Qing, HUANG Xi

(College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

(Key Laboratory of OptoElectronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Considering the strict requirements for data and limited application for the traditional method of the object extraction from Remotely Sensed Imagery (RSI), a building extraction algorithm based on the nonlinear scale-space filtering is proposed. Firstly, nonlinear scale-space of each band in the multispectral RSI is constructed, and the iterative filtering is done. Then, the first valley point in standard deviation curve of the global image is searched to stop the iteration process. Finally, the binarization of filtering results using the Otsu method for each band is made. To verify the validity of the proposed method, an aerial image covering Fuzhou, China is chosen to test and compare with the similar method. Experimental results show that the proposed method can smooth the noise while preserving the building edges information, and has better effect for extraction of the closely spaced buildings. Moreover, the recall of the proposed method increases more than 5% in the premise of ensuring the precision.

**Key words:** nonlinear scale-space filtering; multispectral; remotely sensed imagery; building; extraction

遥感影像信息提取是图像处理领域的热点问题, 建筑物提取是其中的难点. 现有文献中有关从遥感影像中提取建筑物的代表性方法有: (1)基于区域分割的方法. 先通过将遥感影像分割成若干个独立的对象, 再根据建筑物自身的几何形状和空间位置等特征提取具体的建筑物目标<sup>[1]</sup>, 分割算法的质量是影响提取精度的

重要因素, 利用现有的分割算法直接提取建筑物难以得到满意的结果; (2)基于辅助知识的方法. 通过挖掘遥感影像中的颜色<sup>[2]</sup>、阴影<sup>[3]</sup>、纹理<sup>[4]</sup>、几何结构<sup>[5]</sup>等特征, 并结合 LiDAR<sup>[6]</sup>、SAR<sup>[7]</sup>或 DSM 等三维数据提取建筑物<sup>[8]</sup>, 但此类数据一般较难获取或成本较高, 因此, 研究利用颜色、阴影等信息提取建筑物将更有实用价

<sup>①</sup> 基金项目: 福建省自然科学基金(2017J01464); 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目滚动支持计划(IRT\_15R10)

收稿时间: 2016-12-08; 采用时间: 2017-01-04

值; (3)基于边缘提取的方法. 利用边缘提取算法得到建筑物的边缘, 根据空间关系对边缘线段进行分组, 搜索平行线, 进而搜索符合建筑物空间结构和轮廓的矩形, 得到建筑物的位置<sup>[9]</sup>, 在建筑物独立和结构较为简单的情况下效果较好, 但在边缘提取和直线跟踪拟合等步骤中使用了较多阈值, 难以同时适应不同的建筑物类型和成像条件, 实用性受到限制.

针对遥感影像提取建筑物现有相关研究成果的不足, 本文利用多光谱遥感影像的颜色特征, 提出一种基于非线性尺度空间滤波(Nonlinear Scale-Space Filtering), 更加高效与鲁棒地自动识别和提取建筑物的方法.

### 1 方法原理

非线性尺度空间滤波的原理是采用基于各向异性热扩散方程构造遥感影像的非线性尺度空间, 其迭代方程如式(1)所示:

$$I_{t+1} = I_t + \lambda(cN_{x,y}\nabla_N(I_t) + cS_{x,y}\nabla_S(I_t) + cE_{x,y}\nabla_E(I_t) + cW_{x,y}\nabla_W(I_t)) \quad (1)$$

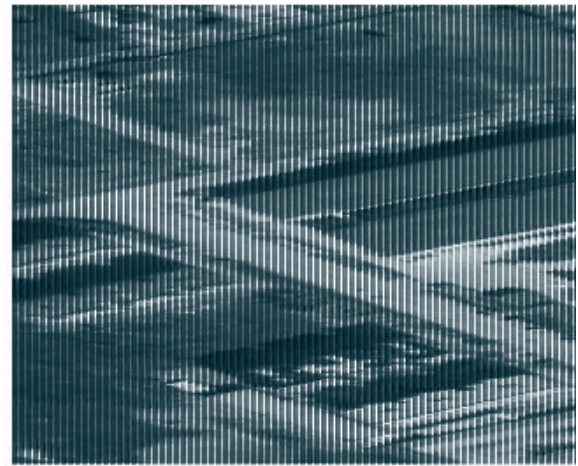
其中,  $I$  为待处理影像,  $\nabla_N(I_t)$ 、 $\nabla_S(I_t)$ 、 $\nabla_E(I_t)$  和  $\nabla_W(I_t)$  分别是四个方向的偏导, 如式(2)所示, 取值越大, 代表边界的可能性越大.  $cN_{x,y}$ 、 $cS_{x,y}$ 、 $cE_{x,y}$  和  $cW_{x,y}$  分别是四个方向上的导热系数, 如式(3)所示, 当方向变化越大时, 其取值越小, 从而达到保留边缘的目的.  $\lambda$  为平滑控制系数, 取值越大, 影像越平滑, 越不易保留边缘.

$$\begin{cases} \nabla_N(I_{x,y}) = I_{x,y-1} - I_{x,y} \\ \nabla_S(I_{x,y}) = I_{x,y+1} - I_{x,y} \\ \nabla_E(I_{x,y}) = I_{x-1,y} - I_{x,y} \\ \nabla_W(I_{x,y}) = I_{x+1,y} - I_{x,y} \end{cases} \quad (2)$$

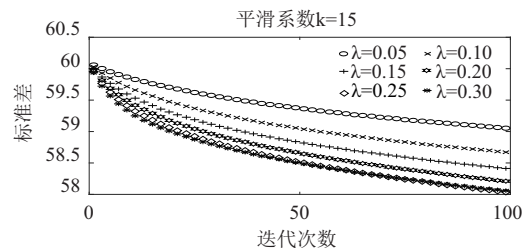
$$\begin{cases} cN_{x,y} = e^{-\|\nabla_N(I)\|^2/k^2}, cS_{x,y} = e^{-\|\nabla_S(I)\|^2/k^2} \\ cE_{x,y} = e^{-\|\nabla_E(I)\|^2/k^2}, cW_{x,y} = e^{-\|\nabla_W(I)\|^2/k^2} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中,  $k$  为方向平滑系数.

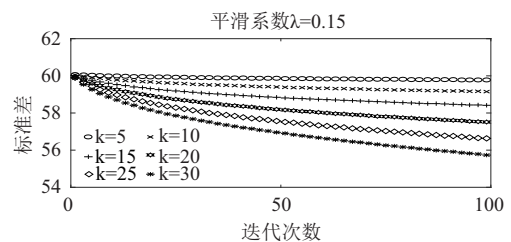
对遥感影像进行非线性尺度空间滤波, 随着迭代次数增加, 影像越平滑, 像素之间的灰度差异越小, 整幅影像的所有波段像素灰度标准差将减小, 根据这一特点, 本文利用图 1(a)验证标准差在不同  $\lambda$  和  $k$  的取值下随迭代次数的变化情况.



(a) 原图



(b)  $\lambda$  的不同取值



(c)  $k$  的不同取值

图 1 标准差在不同  $\lambda$  和  $k$  的取值下随迭代次数的变化曲线

如图 1(b)和图 1(c)所示,  $\lambda$  和  $k$  的取值越小, 整幅影像达到同一标准差(即相同的平滑程度)所需的迭代次数越多, 即运算量越大, 但随着  $\lambda$  和  $k$  的取值增大, 部分边缘信息会被滤除, 综合信息量和计算量对算法效果的影响, 通过对大量的遥感影像进行试验, 确定使算法平均效果达到最佳的  $\lambda$  和  $k$  的取值分别为 0.15 和 15.

对图 1(a)利用式(1)迭代 5000 次, 得到影像的标准差曲线如图 2 所示, 其中当迭代次数=782 时, 标准差曲线达到最小值 33.6, 为了实现迭代的自动停止, 将标准差曲线出现第一个谷点作为迭代的停止条件.

为了比较非线性尺度空间滤波对多光谱遥感影像和全色遥感影像中建筑物边缘的保留程度, 以下对含 R、G、B 三个波段的多光谱影像(如图 3(a)所示)及其

灰度影像(如图3(e)所示,灰度变换公式用  $\text{Gray} = 0.2989 \times R + 0.587 \times G + 0.1140 \times B$ )分别进行 300 次、1000 次和 3000 次的非线性尺度空间滤波。

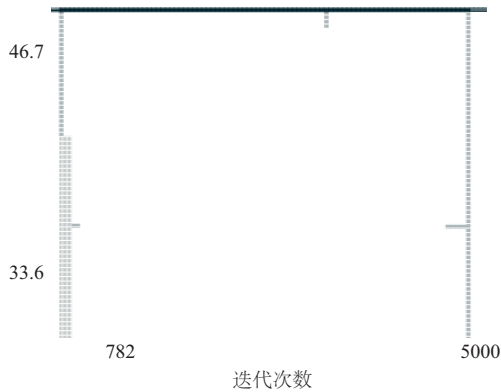


图2 标准差在 $\lambda=0.15, k=15$ 时随迭代次数的变化曲线

显然,对多光谱影像的各个波段分别进行非线性尺度空间滤波再叠加,比对其灰度图或其中任一波段进行非线性尺度空间滤波能更好地保留遥感影像中地物的边缘信息。如图3(b)和图3(f)所示,迭代次数为300时,经非线性尺度空间滤波后的多光谱影像中的所有建筑物都得到保留,而灰度图右上方的5个建筑物几乎被完全平滑,随后迭代次数分别增加到1000和3000,多光谱影像中的建筑物边缘变化不大,而灰度图中的建筑物边缘大量被平滑,直至完全消失(如图3(h)所示)。

如图4所示,为了进一步解释上述现象,以下对两幅遥感影像(记为#1影像和#2影像)分别进行不同次数的迭代,得到对应的R、G、B三个波段中建筑物边缘的保留结果,可以发现,不同波段对同一建筑物边缘的保留程度差异较大,#1影像中R波段对建筑物边缘的保留程度最大,而#1影像中B波段对建筑物边缘的保留程度最大。

综上所述:本方法更适用于多光谱遥感影像,且应对各个波段分别进行非线性尺度空间滤波并叠加,才能更大程度保留边缘信息。

如图5所示,先对多光谱遥感影像的各个波段进行非线性尺度空间滤波迭代,将各个波段影像的标准差曲线出现第一个谷点作为其迭代停止条件。为了简化算法,本文采用自适应阈值分割法——最大类间方差法分别对各个波段的滤波结果进行二值化,根据图4的分析结论,为了最大限度地保留建筑物的边缘信

息,对各个波段的二值化结果进行叠加作为建筑物对象的掩膜,并计算各个掩膜对象的最小外接矩形对建筑物进行可视表达。

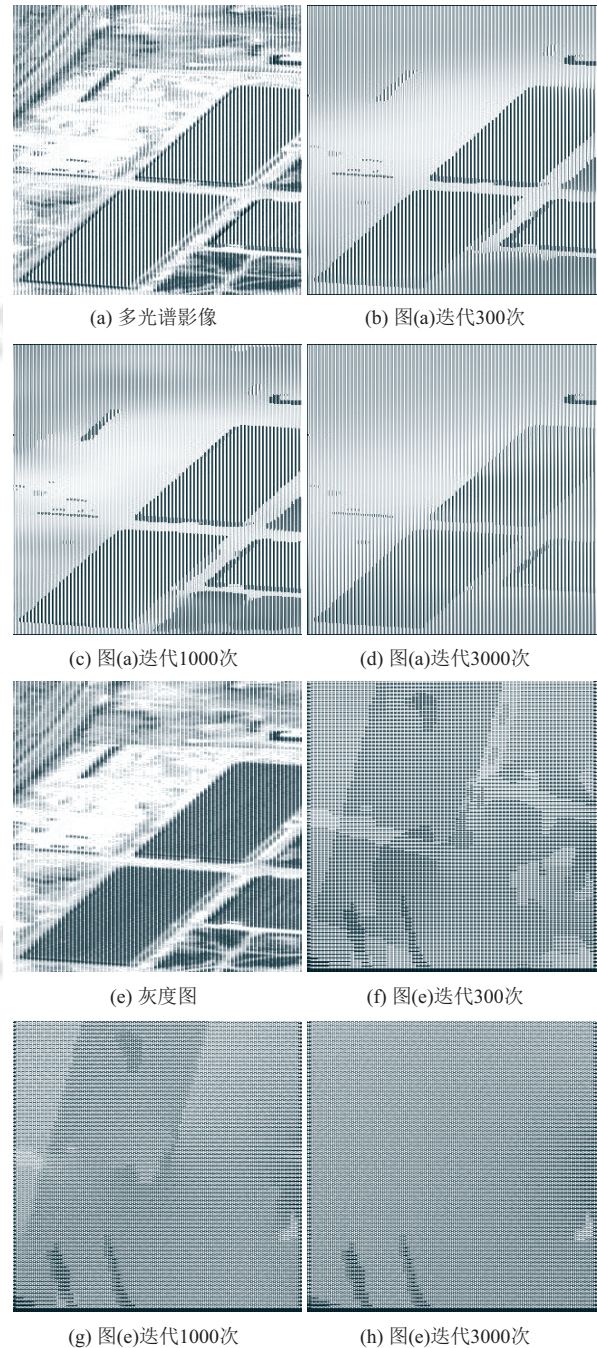


图3 不同迭代次数下对多光谱影像和灰度影像的处理结果比较

## 2 试验与分析

试验数据为福建福州2006年的航空影像,包含

红、绿、蓝 3 个波段, 分辨率为 0.1 m, 从中选取一块试验区域, 尺寸为 2500 像素×1700 像素, 该区域内均是斜顶且不规则建筑物, 顶部颜色共有蓝色和红色两种, 其中红色建筑物排列紧密, 如图 6(a)所示.

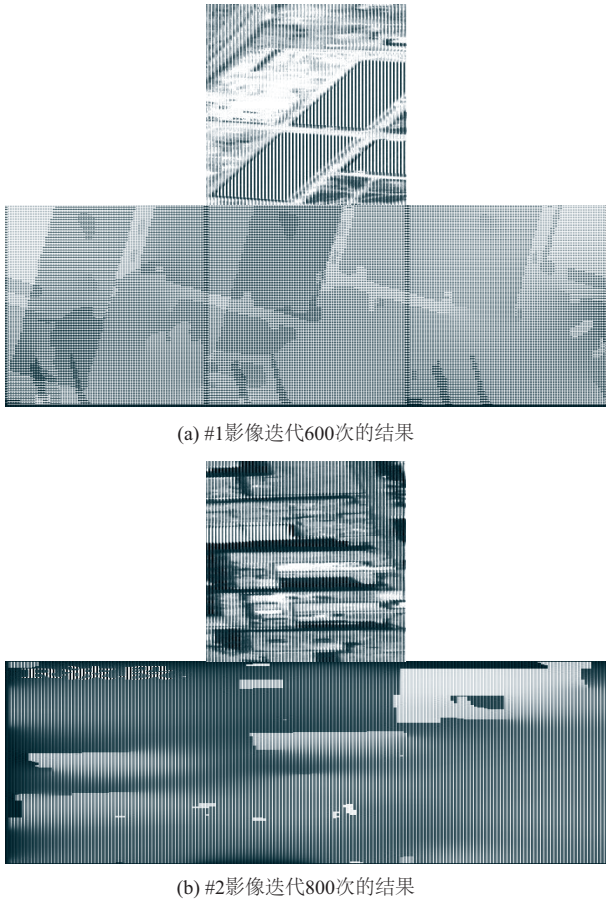


图 4 多光谱影像不同波段的迭代结果

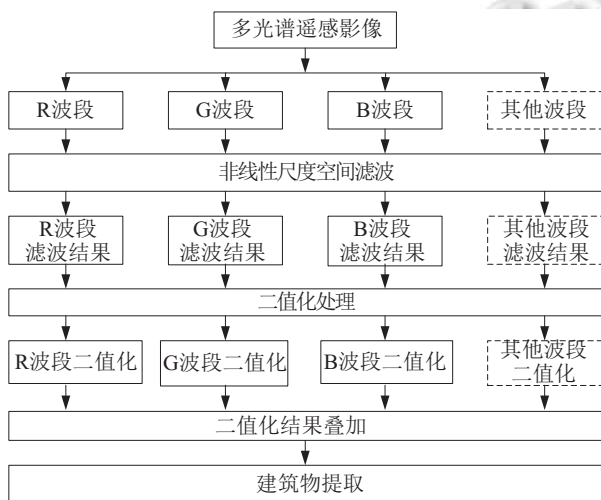
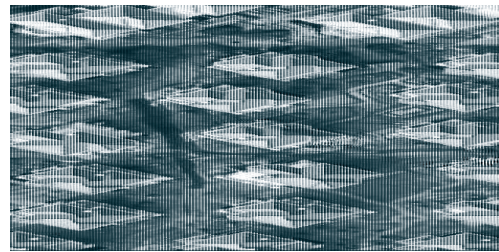
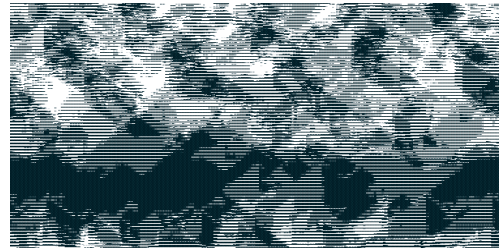


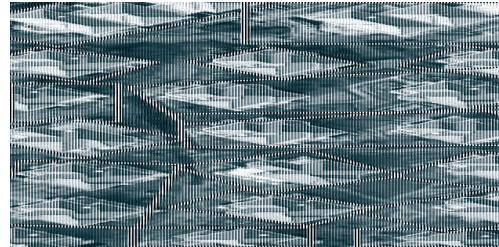
图 5 算法提取流程图



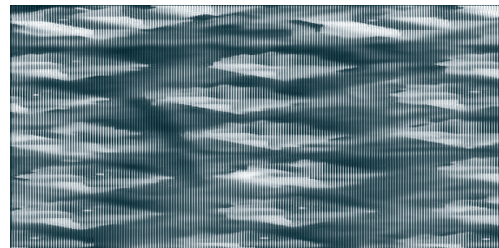
(a) 原图



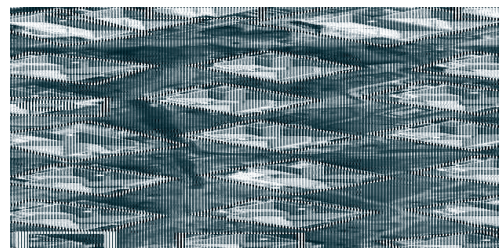
(b) 三个波段二值化叠加结果



(c) 直接二值化的建筑物提取结果



(d) 对(a)进行35次迭代的结果



(e) 基于非线性尺度空间滤波的建筑物提取结果

图 6 建筑物提取比较图

为了说明非线性尺度空间滤波对提高建筑物提取精度的作用, 不经过非线性尺度空间滤波直接对图 6(a)的 3 个波段进行二值化, 结果如图 6(b)和图 6(c)所示, 这种方法所提取的建筑物准确性不高, 大量存在多个建筑物被合检为一个建筑物的现象, 特别是影像上

方排列紧密的红色建筑物尤为明显,原因是当相邻建筑物之间以及建筑物与周围地面之间的光谱特征区分不明显时,在二值化过程中易被误分为同一对象;而非线性尺度空间滤波后,如图6(d)所示,多数干扰因素被平滑的同时建筑物边缘信息仍能得到完整的保留,提取的结果如图6(e)所示,相比图6(c)有明显的改善,完全消除了多个建筑物被合检为一个建筑物的现象,除了左下方有一个建筑物被漏检(黄色矩形框所标注),其余建筑物均被正确提取.同时可以发现,由于建筑物是不规则形状,顶部存在较为明显的分界线导致有少数建筑物被一分为二,即重复提取(绿色圆圈所标注),另外,如图6(e)中蓝色圆圈标注处所示,建筑物的最小外接矩形(红色矩形框)与建筑物的实际轮廓有一定偏差,其原因在于这几个建筑物的部分边缘不明显,二值化时受到周围地面的干扰,但少数的重复提取和边界偏差对建筑物的数量统计基本无影响,在某些应用中是允许的.

鉴于文献[2]的建筑物提取方法是基于多光谱的方法,与本文的方法基本一致,因此选择与其进行对比具有一定的代表性和可比性.处理对象选用图6(a),对比结果如表1所示.

表1 方法对比

算法	TP	FP	FN	Pre(%)	Rec(%)
本文方法	71	2	1	97.26	98.61
文献[2]方法	67	2	5	97.10	93.06

其中,其中,TP表示正确检测到的建筑物数量;FP表示错检的建筑物数量;FN表示漏检的建筑物数量;Pre表示查准率;Rec表示查全率.

由表1可见,本文方法虽然与文献[2]方法的查准率基本一致,但查全率5%以上的提高,说明本文方法更优.

### 3 结论

本文针对遥感影像提出了一种基于非线性尺度空间滤波的建筑物提取方法,为建筑物提取提供了一种有效的新方案.试验结果表明,本文提出的方法可以同时高效、准确地提取不规则形状建筑物的位置和边缘,突破了现有建筑物提取方法存在的只能提取建筑物位置或用矩形简单拟合其轮廓、需要人工设置大量参数

等方面的局限性,能更好地适应城市建筑物变化检测等涉及复杂场景的应用需求;此外,本文的方法还具有参数调校更为简便的优势.如何评价建筑物位置和边缘的准确性、提高查全率,同时通过优化分割算法降低时间复杂度、使本文的研究成果工程化,是后续研究的目标.

### 参考文献

- 1 Wegne JD, Soergel U, Rosenhahn B. Segment-based building detection with conditional random fields. Proc. 2011 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE). Munich, Germany. 2011. 205–208.
- 2 Benedek C, Descombes X, Zerubia J. Building extraction and change detection in multitemporal remotely sensed images with multiple birth and death dynamics. Proc. of 2009 Workshop on Applications of Computer Vision (WACV). Snowbird, UT, USA. 2009. 1–6.
- 3 Huang X, Zhang LP. Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2012, 5(1): 161–172. [doi: 10.1109/JSTARS.2011.2168195]
- 4 Benarchid O, Raissouni N, Engineering T, et al. Support vector machines for object based building extraction in suburban area using very high resolution satellite images, a case study: Tetuan, Morocco. IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI), 2013, 2(1): 43–50.
- 5 陶超, 谭毅华, 蔡华杰, 等. 面向对象的高分辨率遥感影像城区建筑物分级提取方法. 测绘学报, 2010, 39(1): 39–45.
- 6 程亮, 龚健雅. LiDAR 辅助下利用超高分辨率影像提取建筑物轮廓方法. 测绘学报, 2008, 37(3): 391–393.
- 7 苏娟, 张强, 陈炜, 等. 高分辨率 SAR 图像中建筑物特征融合检测算法. 测绘学报, 2014, 43(9): 939–944.
- 8 Ünsalan C, Boyer KL. A system to detect houses and residential street networks in multispectral satellite images. Computer Vision and Image Understanding, 2005, 98(3): 423–461.
- 9 Ahmadi S, Zoj MJV, Ebadi H, et al. Automatic urban building boundary extraction from high resolution aerial images using an innovative model of active contours. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2010, 12(3): 150–157. [doi: 10.1016/j.jag.2010.02.001]